

# 保护层卸压瓦斯抽采及涌出规律研究

程远平<sup>1</sup>, 周德永<sup>2</sup>, 俞启香<sup>1</sup>, 周红星<sup>1</sup>, 王海锋<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学 煤矿瓦斯治理国家工程研究中心, 江苏 徐州 221008;

2. 淮南矿业(集团)有限责任公司, 安徽 淮南 232001)

**摘要:** 随着我国煤矿开采深度的增加, 煤与瓦斯突出矿井和突出煤层的数量不断增加, 利用保护层开采过程中的被保护层的卸压作用对卸压瓦斯进行强化抽采, 使被保护层由高瓦斯突出危险煤层变为低瓦斯无突出危险煤层, 从而实现煤与瓦斯资源的安全高效共采。系统介绍了基于分源原理的回采工作面瓦斯涌出预测方法, 保护层开采及卸压瓦斯强化抽采技术的发展和工程应用。结合淮南潘一矿下保护层和谢一矿上保护层开采及卸压瓦斯强化抽采实例, 将保护层工作面瓦斯涌出量预测结果与保护层工作面瓦斯涌出量实测结果进行了对比分析。研究结果表明, 由于保护层开采的卸压作用, 使被保护层卸压瓦斯抽采率远大于被保护层卸压瓦斯的自然排放率, 导致保护层工作面瓦斯涌出量预测结果小于实际瓦斯涌出量。

**关键词:** 保护层开采; 瓦斯抽采; 瓦斯涌出规律; 煤与瓦斯突出; 煤与瓦斯安全高效共采

**中图分类号:** TD 712 **文献标识码:** A

## Research on Extraction and Emission Laws of Gas for Pressure-Relief in Protecting Coal Seams

CHENG Yuan-ping<sup>1</sup>, ZHOU De-yong<sup>2</sup>, YU Qi-xiang<sup>1</sup>, ZHOU Hong-xing<sup>1</sup>, WANG Hai-feng<sup>1</sup>

(1. National Engineering and Research Center of Coal Gas Control, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China; 2. Huainan Mining (Group) Co. Ltd., Huainan, Anhui 232001, China)

**Abstract:** With the increase of exploiting depth of coal mines in China, the number of coal mines and coal seams with outburst hazard keeps increasing. Using pressure-relief effects of the protected seams to extract forcibly pressure-relief gas, coal seams with high methane and outburst hazard can be safely changed to the ones with low methane and no outburst hazard. As a result, the safe and high efficient exploitation of gas and coal can be realized. The systematic predicting method of methane emission in working face is introduced based on the principle of telling apart its sources. The development and engineering application of the technology for exploiting the protecting seams and the technology for forcibly extracting the pressure-relief gas are also introduced. According to the practical data in Panji No. 1 mine and Xieji No. 1 mine of Huainan city, the comparison of the predicting results of gas emission with the practical ones in protecting working faces indicate the extracting rate of pressure-relief methane is much greater than the natural emission rate in protected coal seams because of the pressure-relief effect of protecting seams. This leads to that the predicted amount of methane emission is less than the practical one in protected seams.

**Key words:** protecting seams exploitation; methane extraction; emission laws of methane; coal and methane outburst; safe and highly efficient exploitation of gas and coal

收稿日期: 2006-02-06

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50134040); 国家“十五”重点科技攻关项目(2001BA803B0412)

作者简介: 程远平(1962), 男, 吉林省集安市人, 教授, 博士生导师, 工学博士, 从事火灾防护理论及矿业安全工程方面研究。

E-mail: ypc620924@163.com Tel: 0516-83995759

长期理论研究和突出危险煤层的开采实践证明, 开采保护层和预抽煤层瓦斯是有效地防治煤与瓦斯突出的区域性措施, 该方法可以避免长期与突出危险煤层处于短兵相接的状态, 提高了防治煤与瓦斯突出措施的安全性和可靠性. 我国《煤矿安全规程》规定:“对于有突出危险煤层, 应采取开采保护层或预抽煤层瓦斯等区域性防治突出措施”;“在突出矿井开采煤层群时, 应优先选择开采保护层防治突出措施”;“开采保护层时, 应同时抽放被保护层瓦斯”<sup>[1]</sup>. 2005 年 1 月, 国家安全生产监督管理局、国家煤矿安全监察局下发了《国有煤矿瓦斯治理规定》, 其中明确规定:“突出矿井必须首先开采保护层, 不具备开采保护层条件的, 必须对突出煤层进行预抽, 并确保预抽时间和效果”<sup>[2]</sup>. 2005 年 3 月, 国家发展与改革委员会、国家安全生产监督管理局、国家煤矿安全监察局下发了《煤矿瓦斯治理经验五十条》, 其中规定:“强制性开采保护层, 做到可保尽保, 并抽采瓦斯, 降低瓦斯压力”<sup>[3]</sup>. 由此可见, 在现有技术条件下, 开采保护层结合卸压瓦斯强化抽采对有效地防治煤与瓦斯突出, 保障突出危险煤层的安全高效开采具有重要的现实意义. 大量抽采的高体积分数瓦斯的利用减少了大量温室气体的排放, 这不但促进了高效洁净能源的利用, 而且保护了人类的生存环境.

自 1933 年法国最先采用开采保护层预防煤与瓦斯突出措施以来, 已经在有煤与瓦斯突出的国家普遍得到应用, 如中国、前苏联、波兰、德国等. 我国自 1958 年以来, 先后在北票、南桐、天府、中梁山、松藻等局矿进行了保护层开采防治煤与瓦斯突出试验研究, 取得了显著的效果. 以后又在红卫、立新、六枝等局矿进行了推广应用. 在上述煤与瓦斯突出严重的矿区推广保护层开采技术, 使煤与瓦斯突出事故发生的次数大幅度下降<sup>[4]</sup>. 1998 年以来, 中国矿业大学与淮南矿业集团合作开展了远程下保护层开采(B11 煤层, 平均厚度 1.9 m, 与被保护层 C13 煤层的层间距 70 m, 层间距和保护层采高之比即相对层间距为 35) 及被保护层底板巷道网格式上向穿层钻孔卸压瓦斯抽采试验研究, 发展了保护层开采这一防突技术措施, 扩大了保护层开采的技术适用范围. 通过保护层开采结合被保护层卸压瓦斯强化抽采工作, 不仅可以消除被保护层的煤与瓦斯突出危险性, 而且可以变高瓦斯突出危险煤层为低瓦斯无突出危险煤层, 从而实现煤与瓦斯突出危险煤层的安全高效开采<sup>[5-6]</sup>.

自 1990 年以来, 我国广泛地开展了矿井瓦斯

涌出规律和矿井瓦斯预测方法的系统研究工作, 建立了以回采工作面瓦斯分源预测方法为基础的矿井瓦斯涌出量预测方法, 其中以“淮南预测方法”和“阳泉预测方法”比较系统完善. 回采工作面瓦斯分源预测方法是回采工作面瓦斯综合治理的基础, 但在上述方法中没有考虑到保护层开采及被保护层卸压瓦斯强化抽采的影响. 保护层及被保护层瓦斯涌出规律及瓦斯涌出量分源预测对合理有效地实施瓦斯抽采技术方案及确定合理的通风方式和通风参数具有十分重要的意义.

## 1 回采工作面瓦斯涌出量预测方法

回采工作面瓦斯涌出来源于煤壁、采落煤炭和采空区, 前两者属本煤层瓦斯涌出, 后者主要来自于邻近煤层和围岩, 属邻近层瓦斯涌出. 本煤层(煤壁和采落煤炭)瓦斯涌出强度与煤的暴露时间呈负指数关系, 即在暴露初始期间瓦斯涌出强度最大, 以后随暴露时间的延长呈负指数关系衰减, 所以落煤、放煤工艺是本煤层瓦斯涌出治理的重要时刻. 邻近层的瓦斯涌出主要取决于邻近层的赋存状态、瓦斯含量、层间岩性、本煤层的开采工艺, 以及本煤层和邻近层之间的相对位置关系等<sup>[7-8]</sup>.

回采工作面的相对瓦斯涌出量  $q$  分为本煤层相对瓦斯涌出量  $q_b$  和邻近层相对瓦斯涌出量  $q_L$ , 则:

$$q = q_b + q_L, \quad (1)$$

$$q_b = k \frac{M}{m} (X_0 - X_c),$$

$$q_L = \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{m} \eta_i (X_{0i} - X_{ci}),$$

$$k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3,$$

$$k_2 = 1/c,$$

$$k_3 = (L - 2b)/L,$$

式中:  $k$  为本煤层瓦斯涌出影响系数;  $k_1$  为围岩瓦斯涌出系数, 全部冒落法  $k_1 = 1.2$ ;  $k_2$  为工作面丢煤瓦斯涌出系数;  $c$  为工作面回采率, %;  $k_3$  为掘进巷道预排瓦斯影响系数;  $L$  为工作面的长度, m;  $b$  为巷道瓦斯预排宽度, m;  $m, M$  分别为采高及煤层厚度, m;  $X_0$  为煤层原始瓦斯含量,  $m^3/t$ ;  $X_c$  为煤层残存瓦斯含量,  $m^3/t$ ;  $M_i$  为第  $i$  邻近层的厚度, m;  $X_{0i}$  为第  $i$  邻近层的原始瓦斯含量,  $m^3/t$ ;  $X_{ci}$  为第  $i$  邻近层的残存瓦斯含量,  $m^3/t$ ;  $\eta_i$  为第  $i$  邻近层的瓦斯排放率, %.

利用式(1)进行回采工作面瓦斯涌出量预测时, 煤层残存瓦斯含量是指采落煤炭运至地表的残存瓦

斯含量,煤层残存瓦斯含量主要取决于煤的挥发分含量,表 1 给出了不同挥发分条件下煤层的残存瓦斯含量.在厚煤层分层开采时,不同分层的瓦斯涌出量相差很大,首采分层的瓦斯涌出量最大,后采的分层瓦斯涌出量相对较小,在本煤层瓦斯涌出量预测时应考虑分层开采时瓦斯涌出比例系数(见表 2),同时将煤层厚度与采高之比( $M/m$ )取 1.

表 1 煤层残存瓦斯含量与挥发分之间的关系  
Table 1 Relations between remnant gas content of coal seams and volatile

煤的挥发分含量/ %	6~8	8~12	12~18	18~26	26~35	35~42	42~50
煤层残存瓦斯含量/ ( $m^3 \cdot t^{-1}$ )	9~6	6~4	4~3	3~2	2	2	2

表 2 分层开采瓦斯涌出比例系数  
Table 2 Ratio coefficient of gas emission of exploitation by layers

分层开采数目	2		3			$\geq 4$
	第 1 分层	第 2 分层	第 1 分层	第 2 分层	第 3 分层	第 1 分层
分层瓦斯涌出比例系数	$1.5 \pm 0.5$	$0.5 \pm 0.05$	$1.8 \pm 0.1$	$0.7 \pm 0.1$	$0.5 \pm 0.1$	$2.2 \pm 0.5$

图 1 给出了淮南矿业集团煤层赋存条件下邻近层瓦斯排放率曲线.由图 1 可知,在淮南矿业集团煤层赋存条件下,上邻近层瓦斯排放范围高达 125 m,下邻近层瓦斯排放范围可达 35 m,邻近层瓦斯排放率不但取决于层间距  $H$ ,而且还与邻近层的瓦斯压力  $p$  有关,邻近层瓦斯压力越大,瓦斯排放率越高.

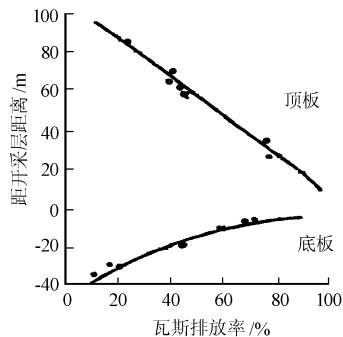


图 2 阳泉矿区邻近层瓦斯排放率曲线  
Fig. 2 Curves of gas emission rates of neighborhood coal seams in Yangquan diggings

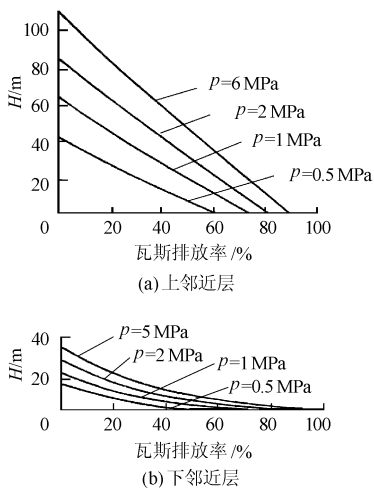


图 1 淮南矿区邻近层瓦斯排放率曲线  
Fig. 1 Curves of gas emission rates of neighborhood coal seams in Huainan diggings

图 2 给出了阳泉煤业集团煤层赋存条件下邻近层瓦斯排放率曲线<sup>[9]</sup>.由图 2 可知,在阳泉煤业集团煤层赋存条件下,上邻近层瓦斯排放范围高达 120 m,下邻近层瓦斯排放范围可达 50 m.由图 2 经回归分析的到上、下邻近层瓦斯排放率  $\eta$  与层间距  $H$  的关系为

$$\begin{cases} \eta_{(上)} = 257.01 - 53.48 \ln H, \\ \eta_{(下)} = 157.62 - 40.19 \ln H. \end{cases} \quad (2)$$

## 2 保护层开采及卸压瓦斯强化抽采方法

我国《煤矿安全规程》规定:“应优先选择无突出危险煤层作为保护层.矿井中所有煤层都有突出危险时,应选择突出危险程度较小的煤层作保护层;应优先选择上保护层;选择下保护层开采时,不得破坏被保护层的开采条件”<sup>[1]</sup>.由此可见,保护层应是煤层群条件下的首采煤层,而被保护层则是煤层群条件下的卸压煤层.保护层开采及卸压瓦斯强化抽采原理如下:保护层(首采煤层)开采之后,其顶板岩(煤)层将产生破断、移动、卸压变形,其底板岩(煤)层将产生底鼓和卸压变形,并在卸压岩(煤)层中产生裂隙,使透气性增加,从而形成了被保护层卸压瓦斯的“解吸-扩散-渗流”流动条件.此时,采用被保护层卸压瓦斯强化抽采方法可将卸压瓦斯有效地抽采出来,其结果:a.显著地减少了被保护层卸压瓦斯向保护层工作面的流动,保证了保护层工作面的安全高效开采;b.有效地降低了突出危险煤层的地应力和瓦斯压力,提高了煤体强度,消除煤与瓦斯突出危险性;c.使被保护层由高瓦斯突出危险煤层转变为低瓦斯无突出危险煤层,可实

现被保护层工作面的安全高效开采。

根据保护层与被保护层的相对位置关系,保护层分为上保护层和下保护层。为了描述下保护层开采后被保护层的卸压程度,文献[5]中引进了相对层间距的概念,即保护层与被保护层之间的平均距离与保护层平均采高之比。根据相对层间距的大小,将下保护层工作面后部采空区的瓦斯涌出分为近程瓦斯涌出、中程瓦斯涌出和远程瓦斯涌出。近程瓦斯涌出主要来自于首采煤层的未开采分层、采空区遗煤、处在垮落带的煤层、底鼓变形较大区域内的底部煤层和部分断裂带内煤层的瓦斯;中程瓦斯涌出主要来自于断裂带和部分弯曲带内煤层的瓦斯;远程瓦斯主要来自于弯曲带内煤层的瓦斯。近程、中程及远程瓦斯其“解吸-扩散-渗流”的条件

不同,瓦斯汇集及运移条件不同,对应的瓦斯抽采方法也不相同,保护层开采及卸压瓦斯强化抽采方法如表 3 所示。对于瓦斯涌出量较大的保护层工作面,根据瓦斯涌出来源的不同,需要采取多种瓦斯抽放方法的组合,才能保证保护层工作面的安全高效开采。如淮南矿业集团谢一矿 5121B9b 工作面,保护层 B9b 煤层处在煤层群中间,在保护层开采的卸压区域中,上部有 B9c、B10 和 B11 煤层,下部有 B9a、B8、B7 和 B6 煤层。该保护层工作面回采过程中,绝对瓦斯涌出量达 40 m<sup>3</sup>/min,相对瓦斯涌出量达 45 m<sup>3</sup>/t,既采用了上部卸压区域的近程及远程瓦斯抽采方法,也采用了下部卸压区域的瓦斯抽采方法。

表 3 保护层开采及卸压瓦斯强化抽采方法汇总

Table 3 Summary of pressure-relief gas extraction methods and exploitation of protecting seams

瓦斯抽采区域	瓦斯抽采方法描述				
	方法分类	瓦斯来源	具体方法	应用矿区	应用效果
上部卸压区域	近程抽采	1) 首采煤层的未开采分层	顶板走向穿层钻孔	淮南、淮北、铁法、沈阳等	好
		2) 采空区遗煤	顶板走向顺层长钻孔	淮南、阳泉等	较好
		3) 处在垮落带的煤层	顶板走向高抽巷	淮南	较好
	中程抽采	4) 底板变形较大区域内煤层	采空区埋管	抚顺、淮南、淮北、平顶山等	较好
		5) 断裂带内煤层	采空区尾抽	淮南、阳泉等	
		6) 少部分来自弯曲带内煤层			
远程抽采	1) 断裂带内煤层	顶板走向高抽巷法	阳泉、盘江、淮南等	好	
		顶板倾斜高抽巷法	阳泉	好	
	2) 部分来自弯曲带内煤层	顶板倾向穿层钻孔法	阳泉	较好	
		地面钻井法	阳泉、淮北、淮南、铁法等	部分较好	
下部卸压区域	下部卸压区域内煤层	底板巷道网格式上向穿层钻孔法	淮南、阳泉	好	
		地面钻井法	阳泉、淮北、淮南、铁法等	部分较好	
下部卸压区域	下部卸压区域内煤层	底板巷道网格式上向穿层钻孔法	淮南、天府、沈阳等	好	
		顶板巷道网格式上向穿层钻孔法	淮南、天府等	较好	

### 3 保护层开采及卸压瓦斯强化抽采对工作面瓦斯涌出影响的实例分析

#### 3.1 潘一矿 2352(1) 下保护层工作面开采

2352(1) 下保护层工作面位于淮南矿业集团潘一矿东一采区和东二采区(两个采区联合开采),开采无煤与瓦斯突出危险 B11 煤层,工作面走向长 1 640 m,倾斜长 190 m,位于- 600~ - 650 m 等高线之间,煤层厚度 1.5~ 2.4 m,平均 2.0 m,倾角 6°~ 13°,平均 9°。B11 煤层瓦斯含量为 4~ 7.5 m<sup>3</sup>/t,保护层工作面煤层赋存稳定,地质构造简单,采用综合机械化采煤。被保护层为 C13 煤层,位于 B11 煤层上部 70 m 处,相对层间距 35。被保护 C13 煤层工作面为 2121(3) 和 2322(3) 工作面,工作面走向长 1 680 m(两个面合计),倾斜长 160 m,位于- 530~ - 580 m 等高线之间,煤层厚度 5.57~ 6.25 m,平均 6.0 m,倾角 6°~ 13°,平均 9°。

实测该区域 C13 煤层瓦斯压力为 4.4 MPa,煤层瓦斯含量 13.0 m<sup>3</sup>/t,煤层原始透气性系数为 0.011 m<sup>2</sup>/(MPa<sup>2</sup>·d)。被保护层工作面煤层赋存稳定,地质构造简单,经卸压和远程瓦斯抽采全面消除煤与瓦斯突出危险性并有效地降低煤层瓦斯含量后采用综合机械化放顶煤采煤方法。

为了有针对性地制定保护层及被保护层瓦斯综合治理技术方案,运用式(1)对保护层开采过程中的相对瓦斯涌出量进行了预测分析,2352(1)工作面影响区域内煤层瓦斯相对涌出量预测结果如表 4 所示。由表 4 可知,保护层工作面相对瓦斯涌出量为 18.7 m<sup>3</sup>/t,其中本煤层相对瓦斯涌出量为 5.0 m<sup>3</sup>/t,占总涌出量的 27%;邻近层相对瓦斯涌出量为 13.7 m<sup>3</sup>/t,占总涌出量的 73%。保护层工作面在不同产量条件下绝对瓦斯涌出量预测结果如表 5 所示,当工作面平均产量为 1 700 t/d 时,工作面绝对瓦斯涌出量达 22.1 m<sup>3</sup>/min。为了保证保

护层工作面的安全高效开采, 并实现被保护层工作面由高瓦斯突出危险工作面变为低瓦斯无突出危险工作面的目的, 在保护层工作面开采过程中采用了顶板走向穿层钻孔近程瓦斯抽采方法, 同时由被保护层底板岩巷向被保护层施工网格式上向穿层钻孔, 用于抽放被保护层远程卸压瓦斯。

2352(1) 下保护层工作面回采期间配风量为 1 100~ 1 300 m<sup>3</sup>/min, 风排瓦斯量 6~ 14 m<sup>3</sup>/min, 平均为 10 m<sup>3</sup>/min; 近程瓦斯抽放量为 0.9~ 12.8 m<sup>3</sup>/min, 平均为 5.0 m<sup>3</sup>/min; 远程瓦斯抽放量为 8.2~ 25.2 m<sup>3</sup>/min, 平均 16.0 m<sup>3</sup>/min; 绝对瓦斯量 17.1~ 39.5 m<sup>3</sup>/min, 平均 31.0 m<sup>3</sup>/min. 工作面产量 1 400~ 2 000 t/d, 平均 1 700 t/d; 平均相对瓦斯涌出量 26.3 m<sup>3</sup>/t; 回风流中的瓦斯体积分数 0.5%~ 1.1%, 平均 0.8%~ 0.9%. 被保护层 2121(3) 工作面卸压瓦斯抽采率达 60% 以上, 工作面回采期间风排瓦斯量 4.56~ 12.47 m<sup>3</sup>/min, 平均 9.0 m<sup>3</sup>/min; 顶板走向钻孔瓦斯抽放量 6.0~ 13.1 m<sup>3</sup>/min, 平均 9.0 m<sup>3</sup>/min; 绝对瓦斯涌出量

13.1~ 24.7 m<sup>3</sup>/min, 平均 18.0 m<sup>3</sup>/min; 工作面产量 3 772~ 6 335 t/d, 平均 5 100 t/d; 相对瓦斯涌出量 3.7~ 7.6 m<sup>3</sup>/t, 平均 5.0 m<sup>3</sup>/t; 工作面配风量 1 700 m<sup>3</sup>/min, 回风流瓦斯体积分数 0.3%~ 0.7%, 平均 0.5%。

将 2352(1) 下保护层工作面实际平均绝对瓦斯涌出量和平均相对瓦斯涌出量与预测结果对比可知, 实际结果远大于预测结果, 绝对瓦斯涌出量相差 8.9 m<sup>3</sup>/min, 相对瓦斯涌出量相差 7.6 m<sup>3</sup>/t. 出现瓦斯涌出量实际结果与预测结果差异较大的原因主要是对被保护层实施了底板巷道网格式上向穿层钻孔远程卸压瓦斯抽采方法, 如果不采取远程卸压瓦斯抽采方法, 被保护层可解吸瓦斯含量最多只能有 30% 通过层间采动裂隙进入保护层工作面, 而采用远程卸压瓦斯抽采方法后, 被保护层瓦斯抽采率达到 60%, 相当于被保护层可解吸瓦斯含量的 75%. 实际上, 正是由于远程卸压瓦斯的抽采作用, 减少被保护层向保护层工作面的瓦斯涌出量, 同时大幅度地降低了被保护层的瓦斯含量。

表 4 2352(1) 下保护层工作面影响区域内煤层瓦斯相对涌出量预测

Table 4 Prediction results of relative gas emission in the influencing regions of the 2352(1) lower protecting working face

煤层	煤层厚度/ m	层间距/ m	相对层 间距	原始瓦斯含量/ (m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )	$X_{0-} - X_c /$ (m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )	瓦斯排放率/ %	相对瓦斯涌出量/ (m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )
C13-2	0.9	77	38.5	13.0	10.4	28	1.3
C13	6.0	70	35	13.0	10.4	30	9.4
C12	0.8	66	33	13.0	10.4	32	1.3
B11-2	0.4	2	1	5.5	4.4	90	0.8
B11	2	0	0	5.5	4.4	100	5.0
B11-2	0.5	0.8		5.5	4.4	80	0.9
合计							18.7

注: 本煤层瓦斯涌出量预测时, 本煤层瓦斯涌出影响系数的分量取值为  $k_1 = 1.2$ ,  $k_2 = 1.05$ ,  $k_3 = 0.9$ 。

表 5 2352(1) 下保护层工作面不同产量条件下绝对瓦斯涌出量预测

Table 5 Prediction results of absolute gas emission under different output in the 2352(1) lower protecting working face

工作面产量/(t·d <sup>-1</sup> )	1 000	1 500	1 700	2 000	2 500
绝对瓦斯涌出量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	13.0	19.5	22.1	26.0	32.5

### 3.2 谢一矿 51115C15 上保护层工作面开采

51115C15 上保护层工作面位于淮南矿业集团谢一矿 51 采区, 开采无煤与瓦斯突出危险 C15 煤层, 工作面走向长 650 m, 倾斜长 180 m, 位于 - 635~ - 702 m 等高线之间, 煤层厚度 1.0~ 1.5 m, 平均 1.1 m, 倾角 19°~ 22°, 平均 21°。C15 煤层瓦斯含量 15.6 m<sup>3</sup>/t, 保护层工作面煤层赋存稳定, 地质构造简单, 采用机械化采煤。被保护 C13 煤层工作面为 51115C13 工作面, 工作面走向长 650 m, 倾斜长 198 m, 位于 - 666.6~ - 718 m 等高线之间, 煤层厚度 5.8~ 8.7 m, 平均 6.5 m, 倾角平均 21°。该区域 C13 煤层瓦斯压力为 4.5 MPa, 煤层瓦斯含量 16.2 m<sup>3</sup>/t. 被保护层工作面

煤层赋存稳定, 地质构造简单, 经卸压和远程瓦斯抽采全面消除煤与瓦斯突出危险性并有效地降低煤层瓦斯含量后拟采用综合机械化放顶煤采煤方法。

为了有针对性地制定保护层及被保护层瓦斯综合治理技术方案, 运用式(1)对保护层开采过程中的相对瓦斯涌出量进行了预测分析, 51115C15 工作面影响区域内煤层瓦斯相对涌出量预测结果如表 6 所示。由表 6 可知, 保护层工作面相对瓦斯涌出量为 52.8 m<sup>3</sup>/t, 其中本煤层相对瓦斯涌出量为 14.8 m<sup>3</sup>/t, 占总涌出量的 30%, 邻近层相对瓦斯涌出量为 38.0 m<sup>3</sup>/t, 占总涌出量的 70%。保护层工作面在不同产量条件下绝对瓦斯涌出量预测

结果如表 7 所示, 当工作面平均产量为 900 t/d 时, 工作面绝对瓦斯涌出量达 33.0 m<sup>3</sup>/min. 为了保证保护层工作面的安全高效开采, 并实现被保护层工作面由高瓦斯突出危险煤层变为低瓦斯无突出危险煤层的目的, 在保护层工作面开采过程中采

用了顶板走向高抽巷、采空区尾抽瓦斯抽采方法和尾巷排放及回风排瓦斯综合治理方案, 同时由被保护层底板岩巷向被保护层施工网格式上向穿层钻孔, 用于抽放被保护层卸压瓦斯.

表 6 5111C15 上保护层工作面影响区域内煤层瓦斯相对涌出量预测

Table 6 Prediction results of relative gas emission in the influencing regions of the 5111C15 upper protecting working face

煤层	煤层厚度/ m	层间距/ m	原始瓦斯含量/ (m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )	$X_0 - X_c$ / (m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )	瓦斯排放率/ %	相对瓦斯涌出量/ (m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )
C15	1.1	0	15.6	12.5	100	14.8
C14	0.6	2	15.6	12.5	80	5.4
C13	6.5	19	16.2	13.0	40	30.6
C12	0.53	27	16.2	13.0	30	1.9
合计						52.7

注: 本煤层瓦斯涌出量预测时, 本煤层瓦斯涌出影响系数的分量取值为  $k_1 = 1.2, k_2 = 1.1, k_3 = 0.9$ .

表 7 5111C15 上保护层工作面不同产量条件下绝对瓦斯涌出量预测

Table 7 Prediction results of absolute gas emission under different output in the 5111C15 upper protecting working face

产量/(t·d <sup>-1</sup> )	瓦斯涌出量/ (m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	本煤层瓦斯涌出		邻近层瓦斯涌出	
		涌出量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	比例/%	涌出量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	比例/%
700	25.7	7.7	30	18.0	70
800	29.3	8.8	30	20.5	70
900	33.0	9.9	30	23.1	70
1 000	36.7	11.0	30	25.7	70

5111C15 上保护层工作面回采期间总进风量为 700~1 434 m<sup>3</sup>/min, 其中工作面回风量为 200~932 m<sup>3</sup>/min, 平均 600 m<sup>3</sup>/min; 工作面尾排风量 240~1 120 m<sup>3</sup>/min, 平均 570 m<sup>3</sup>/min; 工作面绝对瓦斯涌出量 50 m<sup>3</sup>/min, 其中平均瓦斯抽采量 40 m<sup>3</sup>/min(包括采空区尾抽平均瓦斯抽采量 10.5 m<sup>3</sup>/min、顶板走向高抽巷平均瓦斯抽采量 12.0 m<sup>3</sup>/min、底板岩巷网格式上向穿层钻孔平均瓦斯抽采量 17.5 m<sup>3</sup>/min), 平均风排瓦斯量 10.0 m<sup>3</sup>/min(包括尾巷平均排放瓦斯量 5.5 m<sup>3</sup>/min、回风平均排放瓦斯量 4.5 m<sup>3</sup>/min). C15 煤层平均瓦斯涌出量 8.2 m<sup>3</sup>/min, 占工作面绝对瓦斯涌出量的 16.4%, C13 煤层及其邻近层瓦斯涌出量 41.8 m<sup>3</sup>/min, 占工作面绝对瓦斯涌出量的 83.6%. 保护层工作面平均产量 900 t/d, 平均相对瓦斯涌出量为 78.0 m<sup>3</sup>/t. 经瓦斯涌出平衡计算分析, 在被保护层 C13 煤层的有效卸压范围内瓦斯抽采量为 11.2 m<sup>3</sup>/t, 瓦斯抽采率达 68%.

将 5111C15 上保护层工作面实际平均绝对瓦斯涌出量和平均相对瓦斯涌出量与预测结果对比可知, 实际结果远大于预测结果, 绝对瓦斯涌出量相差 17.0 m<sup>3</sup>/min, 相对瓦斯涌出量相差 25.2 m<sup>3</sup>/t. 出现瓦斯涌出量实际结果与预测结果差异较大的原因主要是对被保护层实施了底板巷道网格式上向穿层钻孔远程卸压瓦斯抽采方法, 如果不

采取远程卸压瓦斯抽采方法, 被保护层可解吸瓦斯含量最多只能有 40% 通过层间采动裂隙进入保护层工作面, 而采用远程卸压瓦斯抽采方法后, 被保护层瓦斯抽采率达到 68%, 相当于被保护层可解吸瓦斯含量的 86%. 实际上, 正是由于被保护层卸压瓦斯的抽采作用, 减少被保护层向保护层工作面的瓦斯涌出量, 同时大幅度地降低了被保护层的瓦斯含量.

## 4 结 论

传统的保护层开采技术的核心是被保护层的卸压作用和卸压瓦斯通过开采形成层间裂隙的自然排放, 目的是为了消除被保护层的煤与瓦斯突出危险性. 随着保护层开采技术的发展, 其技术核心已经转化为被保护层的卸压作用和卸压瓦斯的强化抽采, 目的是使被保护层由高瓦斯突出危险煤层变为低瓦斯无突出危险煤层, 从而实现煤与瓦斯资源的安全高效共采.

现有回采工作面瓦斯涌出量分源预测方法, 将工作面瓦斯涌出分为本煤层和邻近层两部分, 在邻近层瓦斯涌出量预测时采用邻近层瓦斯自然排放模型. 在无邻近煤层(被保护层)卸压瓦斯强化抽采条件下, 上述分源预测方法获得结果经现场实践验证, 预测准确率达 80% 以上. 而保护层开采及卸压瓦斯强化抽采实践证明, 由于对被保护层采取了卸

压瓦斯强化抽采技术,使被保护层工作面瓦斯抽采率(潘一矿 2352(1)下保护层工作面为 60%,谢一矿 51115C15 上保护层工作面为 68%)远大于被保护层卸压瓦斯的自然排放率(潘一矿 2352(1)下保护层工作面为 30%,谢一矿 51115C15 上保护层工作面为 40%),导致保护层工作面瓦斯涌出量预测结果小于实际瓦斯涌出量。

建议在保护层开采及卸压瓦斯强化抽采条件下进行保护层工作面瓦斯涌出量预测时,应预先确定被保护层卸压瓦斯强化抽采方法,根据保护层开采及卸压瓦斯强化抽采实践确定被保护层瓦斯抽采率,用瓦斯抽采率替代被保护层卸压瓦斯的自然排放率。

#### 参考文献:

- [1] 国家安全生产监督管理局,国家煤矿安全监察局. 煤矿安全规程[M]. 北京:煤炭工业出版社,2004.
- [2] 国家安全生产监督管理局,国家煤矿安全监察局. 国有煤矿瓦斯治理规定(第 21 号令)[S]. 2005.
- [3] 国家煤矿安全监察局. 瓦斯治理经验五十条[M]. 北京:煤炭工业出版社,2005.
- [4] 于不凡. 开采解放层的认识与实践[M]. 北京:煤炭工业出版社,1986.
- [5] 程远平,俞启香. 煤层群煤与瓦斯安全高效共采体系及应用[J]. 中国矿业大学学报,2003,32(5):471-

475.

CHENG Yuan-ping, YU Qi-xiang. Application of safe and high-efficient exploitation system of coal and gas in coal seams[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2003, 32(5): 471-475.

- [6] 程远平,俞启香. 煤与远程卸压瓦斯安全高效共采试验研究[J]. 中国矿业大学学报,2004,33(2):132-136.  
CHENG Yuan-ping, YU Qi-xiang. Experimental research of safe and high-efficient exploitation of coal and pressure relief gas in long distance[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004, 33(2):132-136.
- [7] 瓦斯通风防灭火安全研究所. 矿井瓦斯涌出量预测方法的发展与贡献[J]. 煤矿安全,2003,34(增刊):10-13.
- [8] 俞启香,王凯,杨胜强. 中国采煤工作面瓦斯涌出规律及其控制研究[J]. 中国矿业大学学报,2003,29(1):9-14.  
YU Qi-xiang, WANG Kai, YANG Sheng-qiang. Study on pattern and control of gas emission at coal face in China[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2003, 29(1):9-14.
- [9] 包剑影,苏燧. 阳泉煤矿瓦斯治理技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,1996.

## 中国矿业大学获准组建 “煤矿瓦斯治理国家工程研究中心”

国家发展和改革委员会日前以发改高技[2005]2259号文批准由中国矿业大学和淮南矿业(集团)有限责任公司联合组建煤矿瓦斯治理国家工程研究中心,并分别在徐州和淮南建立研发基地和产业化基地,这标志着中国矿业大学国家工程研究中心实现零的突破。

煤炭是我国一次能源的主体,煤炭行业又是高危行业.我国高瓦斯和瓦斯突出矿井占一半左右,煤矿瓦斯防治是煤矿安全工作的重中之重.在煤炭安全领域建设国家工程研究中心,对煤矿瓦斯灾害治理和利用技术进行科研攻关和工程化、系统化研究,形成具有自主知识产权的矿井瓦斯灾害监测监控技术体系,提高煤矿生产安全保障能力,实现煤炭工业健康可持续发展,具有十分重要的意义。

中国矿业大学和淮南矿业(集团)有限责任公司共同组建煤矿瓦斯治理国家工程研究中心,充分体现了产学研结合、优势互补的原则.该中心主要围绕瓦斯重(特)大灾害的控制与防治,建设瓦斯地质保障技术、煤与瓦斯共采及利用技术、瓦斯灾害预警技术、煤矿安全监测监控技术、煤矿救援技术等方面的研究开发设施,对控制瓦斯灾害的重大科研成果进行完整的工程化和集成化研究开发,消化、吸收和集成创新引进的先进技术,为煤矿瓦斯灾害防治提供成套成熟的先进工艺、技术和装备;同时推动国际合作与交流,培养高水平的煤矿安全工程技术与管理人才,为煤炭行业安全生产提供技术支持和服务。